

**Ўзбекистон республикаси олий ва  
ўрта махсус таълим вазирлиги**

**Гулистон давлат университети  
Физика кафедраси**

**Ибрагимов Жамолнинг 5140200- “Физика” таълим  
йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун  
“Яримўтказгичларда гетеротузилмали қатламларни ўстириш ва  
уларнинг хоссаларини ўрганиш.”**

**мавзусидаги**

**Битирув малакавий иши**

**Рахбар:**

**Рисбоев Т.**

**“Физика”**

**кафедрасининг \_\_\_\_\_**

**йиғилиши қарори билан**

**ҳимояга тавсия этилади**

**Кафедра мудири:                           Ш.К.Ниёзов**

**Гулистон-2016 йил.**

## **М у н д а р и ж а**

<b>Кириш.....</b>	<b>3</b>
I. Боб. Яримўтказгичли кристаллар ўстиришнинг эпитаксия усули ва унинг хиллари.....	6
1-§. Кристаллар ўстиришнинг эпитаксия усули. .....	6
2-§. Эпитаксия усулининг хиллари. ....	9
3-§. Эпитаксия усулида кремний ва германий кристалларини ўстириш.....	12
II-Боб. A <sup>3</sup> B <sup>5</sup> турдаги бирикмалар эпитаксиясининг технологик хусусиятлари.....	16
1-§. A <sup>3</sup> B <sup>5</sup> турдаги бирикмалар ҳақида маълумотлар. ....	19
2-§. A <sup>3</sup> B <sup>5</sup> турдаги бирикмалар асосидаги эпитаксиал қатламларнинг авзалликлари. ....	23
3-§. Бинар ва кўп қатламли бирикмаларни суюқ фазадан эпитаксиялаш.....	29
4- §. Эпитаксиал қатламларни легирлаш усуллари.....	32
III-Боб. Мураккаб тузилмали гетероўтишлар ва уларнинг физиковий хоссалари.....	32
1-§. Гетероўтишлар ҳақида умумий маълумотлар. ....	32
2-§. GaAs асосидаги гетеротузилмаларни эпитаксиал ўстириш технологияси. ....	34
IV-Боб. Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As таркибли қаттиқ қатламларни эпитаксия усулида ўстириш ва уларнинг фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш..	36
1-§. GaAs да алюминийнинг эрувчанлиги. ....	36
2-§. Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> As эпитаксия катламларнинг фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш ва тажриба натижалари тахлили.....	38
Х у л о с а. ....	46
Фойдаланилган адабиётлар рўйхати. ....	50

## КИРИШ

**Мавзунинг долбазарлиги.** Турмушимизнинг техник жиҳатдан жиҳозланишини электрон асбоблар ва электрон қурилмаларсиз тасаввур этиш қийин. Электрон асбобларга бўлган талабнинг кундан-кунга ўсиб бориши уларнинг янги хоссаларга эга бўлган хилларини яратишни тақозо қиласди.

Хозирги кунга келиб яrimўтказгичлар физикаси ва яrimўтказгичлар электроникаси сингари етакчи фан тармоқдари юзага келди. Яrimўтказгичлар электроникаси хозирги замон асбобшунослигига асосий роль ўйнамоқда. Бу фан ва унинг техникаси соҳаси бўйича жуда кўплаб олимлар, илмий инженер-техник ва малакали ходимлар ишламоқдалар. Натижада, янги хоссаларга эга бўлган электрон асбоблар яратиш учун яроқли бўлган турли хилдаги материаллар яратилмоқда. Шу сабабли яrimўтказгичли хоссага эга бўлган материалларни ҳосил қилиш жараёнларини ўрганиш амалий жиҳатдан муҳим аҳамиятга эга.

**Мавзунинг янгилиги.** Яrimўтказгичлар физикаси ва яrimўтказгичлар электроникаси ҳозирги замон кишилик жамиятининг деярли ҳамма асосий соҳаларида кириб келди, у бажариши мумкин бўлган хилма-хил мураккаб илмий-техник вазифаларни адo этмоқдаки, ҳатто бу соҳаларни оддий қайд этишнинг иложи йўқ.

Яrimўтказгичнинг ажойиб хоссалари намоён бўладиган сифатли моддалар олиш технологияси ҳозирги замон электроника саноатида катта ва муҳим ўрин тутмоқда.

Яrimўтказгичлар ва улар билан бирга ишлатиладиган бошқа моддалар етарли даражада тоза бўлиши зарур. Бу мақсадда бир неча босқичли тоза моддалар олиш саноати барпо этилган, тузилиши мукаммал бўлган кристалл ўстириш усуллари ишлаб чиқилган. Шундай тоза мукаммал моддалар

асосида турли хизматлари бажарадиган электрон асбоблар, қурилмалар, микросхемалар тайёрланади ва улар амалда жуда кенг миқёсда қўлланилади.

**Мавзунинг мақсади.** Инсоният ҳаётининг ҳозирги кундаги даражасини замонавий техника воситаларисиз тасаввур этиб бўлмайди. Бу ўринда яримўтказгичли асбоблар ва уларни ишлаб чиқариш технологиясининг ривожи ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлмоқда. Интеграл микросхемалар ва дискрет яримўтказгичли асбоблар ишлаб чиқаришда эпитаксиал жараёнлар энг олдинги ўринни эгаллайди. Эпитаксиал технология қўлланилиши кейинги 10-15 йил ичидаги сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни 4-5 марта ошириб юборди. Ушбу ишда эпитаксиал усуллар асосида яримўтказгичли асбобларни ишлаб чиқариш технологиясини баён этиш мақсад қилиб қўйилган. Яримўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлаш технологиясида яримўтказгич материалга баъзи қарама-қарши талаблар қўйилади. Масалан, импулсли диодларда тешилиш кучланишини ошириш учун яримўтказгич пластинанинг солиштирма қаршилигини ошириш керак, у эса иккинчи томондан, ёйилма оқим қаршилиги ўсишига, асбобнинг импулс хоссалари ва тезкорлигини ёмонлаштиради. Транзисторлар тайёрлаш технологиясида ҳам муаммолар мавжуд. Масалан, коллектор соҳасининг солиштирма қаршилигини катта бўлиши юқори тешилиш кучланиши олишига имкон беради, бироқ коллектор ҳажмида катта миқдордаги зарядлар тўпланишига олиб келиб, транзистор тезкорлигини камайтиради ва коллекторнинг катта кетма-кет қаршилиги транзистор қувватини чегаралаб қўяди. Худди шундай муаммолар бошқа яримўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлашда ҳам учрайди. Эпитаксия усули яратилиши бундай муаммоларни ечишда анчагина имконият берди ва БМИда бу усулнинг имкониятларини очиб беришга ҳаракат қилинади.

БМИда эпитаксия усули билан яримўтказгич моддалар олиш ва яримўтказгичли асбоблар тайёрлаш технологияси жараёнларининг асосий

тушунчалари физик, кимёвий, физик-кимёвий хусусиятлари, уларнинг қонуниятлари баён қилинган бўлиб, у кириш, 4 та боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат бўлиб, 41 бетни ташкил этади.

## **I-БОБ.**

### **1. ЯРИМЎТКАЗГИЧЛИ КРИСТАЛЛАР ЎСТИРИШНИНГ ЭПИТАКСИЯ УСУЛИ ВА УНИНГ ХИЛЛАРИ.**

#### **1-§. Кристаллар ўстиришнинг эпитаксия усули**

Ҳозирги замон яrimўтказгичли асбоблар ишлаб чиқариш технологиясида интеграл микросхемалар ва дискрет яrimўтказгичли асбоблар ишлаб чиқаришда эпитаксиал жараёнлар энг олдинги ўринни эгаллайди. Эпитаксиал технология қўлланилиши кейинги 10-15 йил ичида сифатли маҳсулотлар ишлаб чиқаришни 4-5 марта ошириб юборди. Эпитаксиал қатламлар тузилиш жиҳатдан ҳажмий монокристалдан анча такомиллашганлиги, уларда киришмаларни ҳақиқий тақсимотига эга бўлиши билан бирга, назорат қилиб бўлмайдиган ифлосликлар камлиги билан фарқ қиласиди.

Одатда яrimўтказгичли асбобларнинг актив соҳаси пластинканинг унча чукур бўлмаган сирт микроҳажми қисмида вужудга келтирилади. Пластинканинг қолган қисми эса, шу актив соҳани ушлаб туриш учун ҳизмат қиласиди. Демак, асбоб тузлимаси актив ва пассив қисмлардан ташкил топади. Пассив қисм технологик жараёнда конструктив вазифани бажариб туради, холос. Чунки, ўта юпқа пластинкалар билан ишлаб чиқариш жараёнида ишлаб бўлмайди.

Эпитаксия, умуман, яrimўтказгич пластинкани асбоб учун керак бўлмаган пассив қисмнинг паразит қаршилигини камайтириш йўлини қидириш туфайли вужудга келди. Эпитаксия кичик омли пластинкаларда юқори омли яrimўтказгичли қатламларни ўстириш имконини берди.

Эпитаксия термини ўтган асрнинг 50-йилларида пайдо бўлди, у “эпи”сирти, “такис”-жойлашиш маъноларини англатади. Бинобарин, эпитаксия бу кристалл таглик сиртида муайян йўналиши кристалл қатламни ўстиришдир. Демак, эпитаксиал қатлам-таглик тузилишини сақловчи, кристалл тагликка ўтқазилган монокристалл материал. Эпитаксиал ўсиш

жараёнида ҳосил бўлувчи фаза эпитаксиал қатlam ўсиши ёрдамида кристалл панжарани қонуний давом эттиради. Ўсиш қатлами кристалл фазада ўсувчи таглик тузилиши тўғрисидаги маълумотни ташувчи вазифасини бажаради. Бу эса, турли хилдаги янги хоссали яrimўтказгичли асбоблар ва ИМС ларнинг яратилишига олиб келади.

Эпитаксиянинг афзаликларидан яна бири, қалинликнинг қатlam бўйича талаб даражадаги киришмалар тақсимотига эга бўлган легирланган пластинкани олиш имкониятини беради. Бу эса, турли хилдаги янги хоссали яrimўтказгичли асбоблар ва ИМС ларнинг яратилишига олиб келади.

Керакли солиштирма қаршиликли қатламларни олиш учун қаттиқ фазада аниқ миқдорда киришмалар киритиш керак. Эпитаксия жараёнида киришмаларни киритиш учун учувчи бирикмаларнинг III ва IV гурух элементлардан фойдаланилади.

Эпитаксиал қатламларни легирлашнинг асосий усулларига куйидагилар киради: газ аралашмали, суюқ легирлаш ва газ разряди.

Яrimўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлаш технологиясида яrimўтказгич материалга баъзи қарама-қарши талаблар қўйилади. Масалан, импусли диодларда тешилиш кучланишини ошириш учун яrimўтказгич пластинанинг солиштирма қаршилигини ошириш керак, у эса иккинчи томондан, ёйилма оқим қаршилиги ўсишига, асбобнинг импулс хоссалари ва тезкорлигини ёмонлаштиради. Транзисторлар тайёрлаш технологиясида ҳам муаммолар мавжуд. Масалан, коллектор соҳасининг солиштирма қаршилигини катта бўлиши юқори тешилиш кучланиши олишига имкон беради, бироқ коллектор ҳажмида катта миқдордаги зарядлар тўпланишига олиб келиб, транзистор тезкорлигини камайтиради ва коллекторнинг катта кетма-кет қаршилиги транзистор қувватини чегаралаб қўяди. Худди шундай муаммолар бошқа яrimўтказгичли асбоблар ва ИМС лар тайёрлашда ҳам учрайди. Эпитаксия усули яратилиши бундай муаммоларни ечишда анчагина имконият берди.

## **2-§. Эпитаксия усулининг хиллари.**

Эпитаксиал жараённинг уч гуруҳи: авто-, гетеро- ва хемоэпитаксия кўринишлари маълум.

**Автоэпитаксия (гомоэпитаксия)-** таглик моддадан кимёвий фарқ қилмайдиган, тузилиши бўйича бир хил бўлган таглик сиртида йўналиши кристалл қатlam ўстириш жараёнидир. Бу жараёнда гомоген электрон-ковак тузилма пайдо бўлиши имкони яратилади.

**Гетероэпитаксия**-кристаллокимёвий ўзаро таъсир натижасида таглик модда таркибидан фарқ қиладиган модда қатламининг йўналишли ўсиши жараёнидир. **Хемоэпитаксия-** ташқи муҳитдан келувчи модда билан тагликнинг ўзаро кимёвий таъсиридан янги фаза ҳосил бўлагани ҳолда модданинг йўналиши ўсиши жараёнидир. Ҳосил бўлган хемоэпитаксиал қатlam, таркиби бўйича, таглик моддадан ва сиртга келувчи моддадан фарқ қилади.

Ўсувчи қатlam ҳосил бўлишидаги физик-кимёвий ҳодисалар табиати фарқи бўйича эпитаксиянинг учта асосий технологик усуллари мавжуд:

- 1) вакуумда молекулалар оқимидан молекуляр-нур эпитаксия;
- 2) газ ёки буғ-газ аралашмасида кимёвий ўзаро таъсир оқибатида юз берадиган газ фазали эпитаксия;
- 3) эритиш ёки суюқ фазадан рекристалланиш йўли билан суюқ фазада эпитаксия.

Энди қисқача бу учта усульнинг асосий хусусиятларини кўриб чиқамиз.

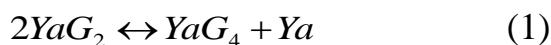
**Молекуляр-нур эпитаксияси.** Вакуумда молекуляр-нурлар оқимиidan ҳосил қилинадиган эпитаксия модданинг тўғри кўчишидан содир бўлади. Модда-манба юқори вакуумда фокусланган электрон нур оқими ёрдамида молекуляр заррачалар оқимини узлуксиз буғлатиб ( оралиқ ўзаро таъсирсиз )

тагликка етказиб берилади. Таглик сиртга ўтирган яримўтказгич зарралари молекулалар ўзаро таъсир остида яримўтказгич кристалли йўналишини аниқловчи тўғри тизимни ҳосил қиласди. Эпитаксиал қатлам ўсиши сирт бўйлаб юз беради ва ўсуви қатлам таглик тизимини қайтаради.

Газ фазада эпитаксиал ўсишнинг механизмларидан иккитасини кўриб ўтиш мумкин. Биринчи механизмга асосан, тагликда яримўтказгич таглик сиртида катализ диссоциация реакцияси натижасида ҳосил бўлади. Иккинчисига асосан, таглиқдан юқорироқда яримўтказгич бирикмалари парчаланиши содир бўлади. Газ фазада диффузия йўли билан яримўтказгич заррачалар тагликка етиб боради.

Яримўтказгич атомларнинг ажралиб чиқиш кимёвий реакцияларни тўртта гурухга ажратиш мумкин:

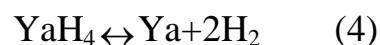
1. Галоид бирикмаларнинг диссотсияланиши



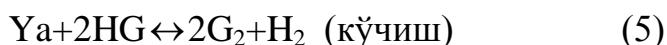
2. Галоид бирикмаларни водород билан тиклаш реакцияси



3. Қиздириш натижасида бирикмаларнинг парчаланиши-пиролиз (иссиқ сочилиш)



4. Иккита босқичда ўтувчи кимёвий кўчиш реакцияси



Бу ердаги барча реакциялар қайтувчи. Реакция қайтиши йўналиши ва ўтириш тезилиги бошлангич моддалар зичлиги ва жараён режимига боғлиқ.

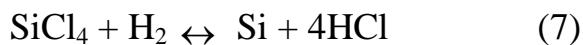
Яримұтқазгич бирикмаларининг суюқ фазада эпитаксиясини олиш учун әритувчилар сифатида осон әрувчи бирикма таркибовчилари, масалан, GaAs ва GaP учун Ga құлланилади. Бу эса кристалланиш температураси камайишига, таглик-әритма чегарасида температура градиенти камайишига олиб келади ва ўстирилган қатlam тозалигини оширади.

Бу усулларга нисбатан анча истиқболли бўлган газ ва суюқ эпитаксиал усул ҳам бор. Яримұтқазгич таглик сиртига эвтектив таркибли суюқ фазани ҳосил қилувчи юпқа металл қатlam суркалади. Бу паст температураларда эпитаксиал қатламларни олиш имконини беради. Яримұтқазгич атомлари суюқ қатlam билан таглик ҳосил қилган чегара орқали газ фаза орқали ўтиради ва уларнинг диффузияланиши натижасида кристалланиш юз беради. Бу ерда әритма қатлами 1 мкм дан ошмайди ва амалда эпитаксиал қатlam ўсиш тезлиги әритмада диффузияланиш вақтига боғлиқ бўлмайди.

### **3-§. Эпитаксия усулида кремний ва германий кристалларини ўстириш.**

Яримўтказгичли электрон асбоблар техникасида яримўтказгичли асбоблар биринчи бўлиб кремний ва германий асосида яратилган. Уларни ўстириш технологиялари жуда яхши ривожланган. Ҳозирги пайтда эпитаксия усули билан уларнинг юпқа пардалари асосида ишловчи турли электрон асбоблар ишлаб чиқарилмоқда. Лекин яримўтказгичли асбоблар ишлаб чиқариш тозалигидаги соф кремний ва германийни ҳосил қилиш ўтган асрнинг 50-йилларида яратилган технологиялар бўйича амалга оширилмоқда.

Соф кремний ҳосил қилишда қуидаги кимёвий реакциядан фойдаланилади:



Бу реаксиянинг афзаллиги  $\text{SiCl}_4$  молекуласига нисбатан  $\text{SiHCl}_3$  молекуласининг анча енгил сочилиши,  $\text{SiCl}$  энергия боғланишига нисбатан Si-H боғланиш энергиясини кичиклиги билан аниқланади.

Водородда кремний тетрахлоридни кичик зичликларда (7) реаксияга асосан ўсиш тезлиги  $\text{SiCl}_4$  зичлигига чизиқий боғланишга эгалиги кузатилади.  $\text{SiCl}_4$  зичлиги кейинги ошиши ўсиш тезлигини камайтиради ва қуидаги (8) реакция кучайиб таглик едирилишига олиб келади.



Кремнийни ўтқазишни  $1150^0\text{-}1250^0\text{C}$  температуралар оралиғида водородда тетрахлорид концентрация сатҳини  $0,5\%-1\%$ , газ оқим тезлигини  $0,1\text{-}1$  м/с ушлаган ҳолда амалга ошириш мумкин. Шу шароитда қатlam ўсиш тезлиги 1 мкм/мин га яқин. Унча юқори бўлмаган температураларда ва буғда катта микдордаги тетрахлоридларда, аморф ёки поликристалл кремний қатлами ҳосил бўлади. Тагликда температура ошиши ва газ аралашмасида тетрахлориднинг мол камайииши қатlam зичлашишига ва кристалланишига олиб келади.

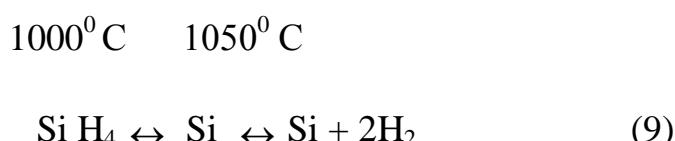
## **Кремний эпитаксия қатламлари олишнинг гидрид усули.**

Юқоридаги эпитаксиянинг хлорид усулида таглик температураси  $1200^0$  га яқин. Шунинг учун юқори легирланган пластинка-тагликдан киришмаларнинг ўсаётган кучсиз легирланган эпитаксия қатlam томон диффузияланиши юз беради. Бу ҳодисани *автолегирлаш* дейилади. Автолегирлашда ўсаётган қатламдан тагликка тескари томонга киришмалар диффузияси рўй бериши ҳам мумкин. Автолегирлаш эпитаксиал қатламда киришмалар зичлигини, қатлам-таглик чегарасида киришмалар зичлигини ва эпитаксиал қатламда берилган зичликдаги киришма соҳаси қалинлигини ўзгартиради.

Тагликка киришмалар диффузияланишини чегаралаш учун диффузия коэффициенти кичик бўлган киришмалар, масалан,  $n$ -тагликларда фосфор ўрнига Sb ва As танланди.

Киришмалар диффузиясини чегаралашнинг бошқа имконияти бу жараён температурасини камайтиришдир. Кремний эпитаксиасида температурани  $1000^0\text{C}$  гача камайтириш учун ўстириш вақтида тагликни ултрабинафша нурлари билан нурлашдан фойдаланиш мумкин. Ултрабинафша нурланиш газ фазада адсорбирашган киришмалар таъсирини камайтиради. Бу эса, кремний таглик атомларининг сирт бўйлаб ҳаракатчанлигига таъсир қиласи. Автолегирлашни анча юқори даражада чегаралаш жараён температурасини камайтириш имконини берувчи эпитаксиянинг гидрид усулидан фойдаланишдир. Бу усулда моносилан пиролиз бўлганлиги учун баъзан силанли усул дейилади.

Силанли усул силаннинг термик парчаланиши қуйидаги қайтмас реаксияга асосланган:



Бу реаксияда кремний монокристалл ҳолатига ўтса, водород газ сифатида учиб чиқади. Демак, (9) формулага кўра, монокристалл қатламлари  $1000^0 - 1050^0$  С температураларда моносилан парчаланиши ҳисобига ҳосил бўлади. Реаксияда таркибида 4-5 %ли моносиланли аралашма ва юқори тозалиқдаги (95-96%) He, Ar ёки H<sub>2</sub> газлари ишлатилади. Ўсиш тезлиги 0,2 дан 2 мкм/с оралигига бўлади.

Усулнинг камчилиги шундаки, моносилан ўз-ўзидан ёниши ва портлаб кетишидир. Шу сабабли, амалдаги реаксияларда моносиланнинг водороддаги 5%ли аралашмаси ишлатилади. Бу аралашма ўз-ўзидан ёнмайди. Реаксия амалга ошадиган реакторда хавфсизлик чоралари кўрилган бўлиши талаб қилинади.

**Германий эпитаксияси.** Германий эпитаксиясига қизиқиш германийли кам шовқинли ўта юқори частотали транзисторлар ва ИМС яратиш муҳимлигидан келиб чиқади. Чунки, бу асбоблар қремнийли ИМС ларга нисбатан паст температураларда самалироқ ишлайди. Германий эпитаксиал қатламларини ўстиришнинг хлорид усули яхши ўрганилган.

Ўтқазиш  $800^0\text{C}$  да бажарилади ва германий тетрахлориди зичлиги 0,2% га яқин бўлади. Аралашма оқими тезлиги танланган қиймати реактор тузилишига, оқим бериш усулига боғлиқ бўлиб, одатда тезлик катталиги 20 см/с дан ошмайди. Эпитаксиал қатламнинг  $800^0\text{C}$  да ўсиш тезлиги 0,5 мкм/мин ни ташкил қиласди.

Германий эпитаксиал қатламларни ўстиришнинг гидрид усулида олиш водород муҳитида GeH<sub>4</sub> ёрдамида  $700^0\text{C}$  температура яқинида ва GeH<sub>4</sub> зичлиги 0,1%-0,2% бўлганида бажарилади. Ўсиш тезлиги  $800^0\text{C}$  гача ошиб боради, кейин газ фазада GeH<sub>4</sub> парчаланиши камаяди. GeH<sub>4</sub> нинг газ фазали парчаланишини камайтириш учун юқори тезликдаги газ оқимидан фойдаланилади. Саноат етарли даражада тоза германий тетрахлоридидан

фойдаланганлиги учун солиширма қаршилиги 15 Ом·см дан катта бўлган эпитаксиал қатламни олиш имконини беради.

Яна камроқ қўлланиладиган усуллардан бири ёпиқ ҳавоси сўрилган кварц найда олишдир. Найда германий тетраёдиdi  $Gel_4$  бўлиб, бу соҳа  $550^0\text{C}$ - $700^0\text{C}$  гача қиздирилади. Найнинг иккинчи соҳасида германий таглик бўлиб унинг температураси  $300^0\text{C}$ - $400^0\text{C}$  ни ташкил қиласи. Биринчи соҳада қуидаги реакция кетади:  $2Gel_4 + Ge \rightarrow 2GeI_2$ . Германий диёдиdi тагликка диффузияланаб, қуидаги реакция содир бўлади:



Натижада германий тагликка ўтиради, буғлари эса манба соҳасига диффузияланади ва реакция яна қайтарилади.

## **2-Боб. А<sup>3</sup>В<sup>5</sup> турдаги яримүтказгичли бирикмалар эпитаксиясининг технологик хусусиятлари.**

### **1-§. А<sup>3</sup>В<sup>5</sup> турдаги бирикмалар ҳақида маълумот.**

А<sup>3</sup>В<sup>5</sup> турдаги яримүтказгичли бирикмалар даврий системанинг 3- ва 5-гурухлар элементларининг кимёвий бирикмасидир. Масалан, уларга мисол қилиб GaAs-галлий арсениди, GaP - галлий фосфори, GaN- галлий нитриди ва бошқаларни олиш мумкин.

А<sup>3</sup>В<sup>5</sup> турдаги кимёвий бирикмаларнинг қўлланилиш соҳалари узлуксиз кенгайиб бормоқда. Ҳозирги вақтда оптоэлектроникада информациянинг тасвирили тизимлари, нурланиш манбалари ва қабул қилгичлар, яримүтказгичли лазерлар, туннел диодлар ва бошқалар яратилишида кенг фойдаланилмоқда. Бу бирикмаларнинг ажойиб хоссалари уларнинг рекомбинацион нурланишлари ва асосида биринчи яримүтказгичли лазерларнинг яратилиши ҳамда Ганн ҳодисасининг кузатилишида намоён бўлди. Бу бирикмалар асосида турли тўлқин узунлигидаги когерент нурланиш манбаларини яратиш мумкин. Жумладан, А<sup>3</sup>В<sup>5</sup> бирикмалар ва улар асосида ўстирилган қаттиқ қотишмалардан ясалган нурланиш манбалари ёрдамида 0,6 дан 6 мкм гача бўлган кенг нурланиш спектри хоссалари тўла ўрганиб чиқилди.

Юқоридаги барча қурилмаларда яримүтказгичли тузилма фаол иштирок этади, одатда, энг камида иккита авто ёки гетероэпитаксиал қатlam мавжуд.

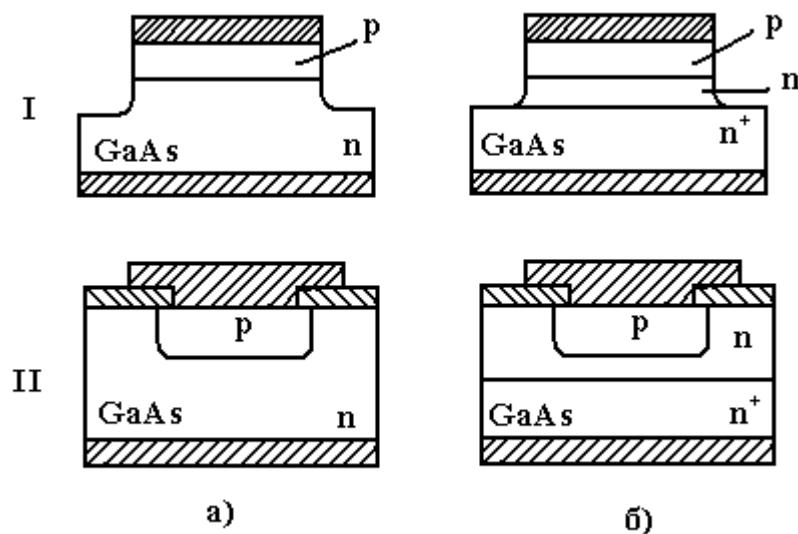
А<sup>III</sup>В<sup>V</sup> турдаги бирикмалар ва улар асосидаги қаттиқ эритмаларни уларнинг эриш температураси ва буғланиш босимининг баландлиги туфайли элементлардан тўғридан-тўғри синтез қилиш мураккабдир. Галлий арсениди ҳавода 300<sup>0</sup>С температурада қиздирилса оксидланади, 600<sup>0</sup>С дан бошланиб

арсеник ажралиб чиқиши билан бирикма буғлана бошлайды. Суюулиш температурасида бу босими  $10^5$  Па ни ташкил қиласы.

GaP суюулиш температурасида фосфор буғининг босими  $3,5 \cdot 10^6$  Па ташкил қиласы. Суюмда ҳолидаги GaAs ва GaP барча контейнер материаллар билан жуда фаол ва ўзаро таъсирда бўла бошлайды.  $A^{III}B^V$  технологиясида қўлланилаётган сунъий кварс қотишма GaAs ни кремний билан ифлослантиради.

Юқоридаги қийинчиларни бирикманинг суюулиши эриш температурасидан пастроқ температурада газ фазадан  $A^{III}B^V$  турдаги бирикмалар эпитаксиал қатламларини ўстиришда йўқотиши мумкин.

Мисол тариқасида 3-расмда бир жинсли галлий арсениди пластинкасида ва  $n^+ - n$  тузилмада эпитаксия усули билан тайёрланган планар ва дискрет меза диодларнинг кристаллари кўрсатилган.



3-расм. Галлий арсениди пластинкасида ва  $n^+ - n$  тузилмада тайёрланган планар ва дискрет меза диодлар.

I) меза диодлар II) планар диодлар а)  $n$ -GaAs, б)  $n^+$   $n$ -GaAs

Бунда  $p$ -эпитаксиал қатlam солишириma қаршилиги бир жинсли  $n$ -GaAs пластинанинг солишириma қаршилигига тенг. Меза кристаллар (3-расм, а, I) ва планар кристаллар (3-расм, а, II) солиширишларидан келиб чиқадики, иккинчи ҳолат эпитаксиал тузилмаларда (3-расм, б, I ва II) кристаллнинг қалинлик қаршилиги R кам. Шундай қилиб,  $n^+ - n$  тур эпитаксиал тузилмали диодларнинг мезаэпитаксиал ва эпитаксиал-планарларнинг чегара такрорийликлари юқори бўлади. Чунки,  $f \approx 1/RC$ , бу ерда C -  $p$ - $n$ -ўтишининг тўсиқ сифими.

## **2-§. A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> бирикмалар асосида олинган эпитаксиал қатламларнинг афзалликлари.**

GaAs ва қаттиқ эритмалар асосида газ фазада эпитаксия олишда газ ташувчи сифатида водороддан фойдаланилган ҳолда хлорид ва хлорид гидрид тизими ўтқазиш мумкин. Бу усулнинг асосий афзаллиги фойдаланилаётган дастгоҳнинг соддалиги; оқим тезлигини ва бирикматашувчи зичлигини ўзгартириш йўли билан қатлам ўсиши жараёнини бошқариш мумкинлиги; турли киришмлар билан легирлаш; узлуксиз жараёнда кўп қатламли тузилмаларни олиш; жараённи автоматлаштириш; едиришнинг осонлиги ва бошқалар киради.

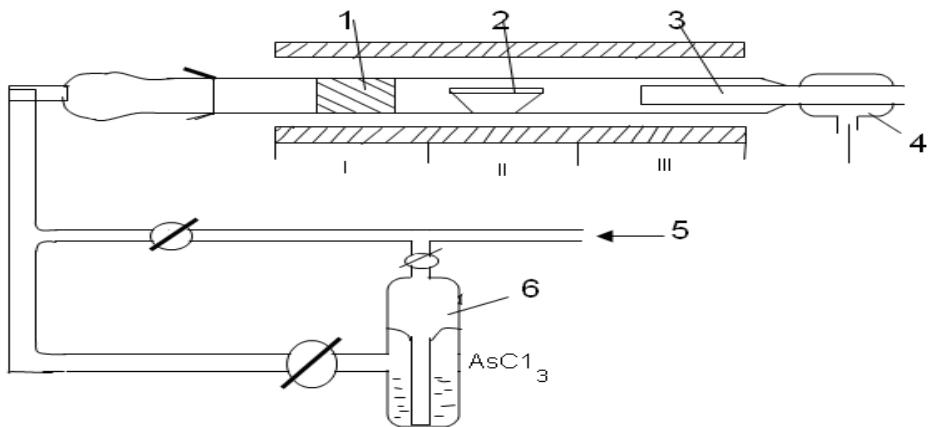
Энди қисқача асосий реагентлар тизимида кимёвий айланишлар ва эпитаксиянинг бир қанча кинетик хусусиятларига тўхталамиз.

Ga-AsCl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> тизимлари афзалликлари битта реакторда AsCl<sub>3</sub> ва юқори тозаликда арсеник ва водород хлориди олиш мумкинлигидир. Бу тизимда галлий арсениди эпитаксиал қатламини олиш қурилмаси 4-расмда кўрсатилган. Реактор учта қизиш соҳасига эга. Унинг киришига водородли буғ AsCl<sub>3</sub> аралашма келади ва биринчи соҳада қуйидаги реакция содир бўлади:



Иккинчи соҳада биринчи соҳадан келган водород хлориди эритма галлий билан ўзаро таъсиrlашади. 700<sup>0</sup>C дан юқори температурада ортиқча галлий маҳсулоти таъсирида галлий субхлориди пайдо бўлади:

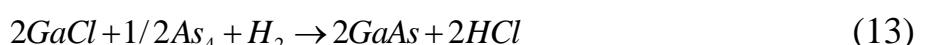




4-расм. Ga-AsCl<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> тизимида GaAs эпитаксиал қатламлар олиш учун қурилма схемаси:

1-арсеник соҳаси 425<sup>0</sup>C (I); 2-галлий соҳаси 800<sup>0</sup>C (II); 3-таглик соҳаси 750<sup>0</sup>-900<sup>0</sup>C (III); 4-реаксия маҳсулотлари чиқиши; 5-водород кириши; 6-AsCl<sub>3</sub> ли барботер.

Учинчи соҳада гетероген реаксия натижасида галлий арсениди синтези ва таглиқда эпитаксиал қатлам ҳосил бўлади:

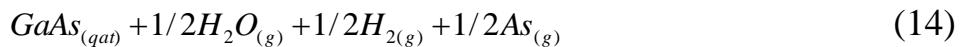


Жараённинг ўзига хос хусусияти иккинчи соҳада арсеник билан галлий эритмасининг тўйинишидир.

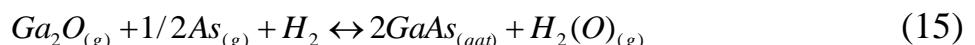
Эритма тўйингандан сўнг унинг сиртида галлий арсениди пардаси ҳосил бўлади, соҳага келувчи ортиқча арсеник водород оқими билан қўшилиб кетади ва реакторнинг совук қисмларига ўтиради. Одатда тагликни галлий эритмаси арсеник билан тўйиниш жараёни тугаган жойга киритилади. Бу газ аралашма таркиби ўзгармаслигини таъминлаб қатламнинг бир жинсли ўсишига олиб келади. Соҳа киришдаги AsCl<sub>3</sub> ва GaCl буғ босимлари

нисбатини ўзгартириш билан ўтириш соҳасида тагликни едириш ва турли тезликда эпитаксиал қатлам ўстириш режимларини аниқлаш мумкин. Қатлам ўсиши тезлиги таглик йўналганлигига боғлиқ. Одатда қуйидаги муносабат кузатилади:  $\vartheta_{(111)A} > \vartheta_{(100)A} > \vartheta_{(211)B} > \vartheta_{(311)B}$ . Бу ерда А-металл, В-металлоид панжара қисмига тегишли белгилар.

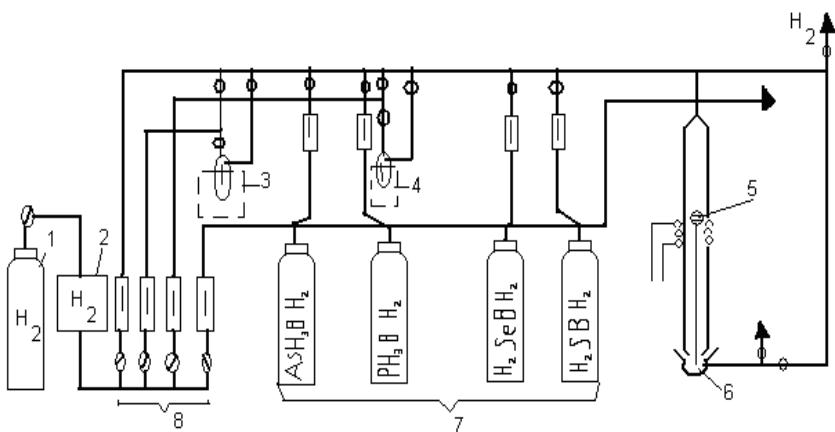
Галлий арсенидининг бошқа тизимларидан ҳам эпитаксиал қатламларни олиш мумкин. Булар  $\text{GaCl}-\text{AsCl}_3-\text{H}_2$ ;  $\text{GaCl}_3-\text{As}-\text{H}_2$ ;  $\text{GaAs}-\text{HCl}-\text{H}_2$ ;  $\text{GaAs}-\text{I}_2-\text{H}_2$ ;  $\text{GeAs}-\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2$  тизимлариdir. Ўтириш соҳасидаги кимёвий реаксиялар кинетикаси ўхшаш. Фақат, охирги тизимда, фарқли равишда ташувчи сифатида сув буғидан фойдаланилади. Бу тизимда манба соҳасида температура  $1000^0-1100^0\text{C}$  бўлиб, жараён галлий арсенидининг оксидланишига олиб келади:



Температураси 50% кам бўлган соҳада, яъни ўтириш соҳасида галлий арсенидининг синтези рўй беради ва бу ерда сув ажралиб чиқиши ҳам кузатилади:



Галлий арсениди ўстириши учун хлорид-гидридли  $\text{Ga}-\text{HCl}-\text{AsH}_3-\text{H}_2$  дан ҳам фойдаланиш мумкин.  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$  ёки уларнинг қаттиқ элементлари бинар бирикмалари эпитаксиал қатламларини олишда  $\text{B}^{\text{V}}$  таркибовчининг уй температурасида газ ҳолда бўлганлиги, газ фазада таркиби ўзгармаслиги ва легирлаш жараёнини бошқаришни таъминлайди.



5-расм. Галлий –органик бирикмалардан фойдаланган ҳолда галлий арсениди эпитаксиал қурилма схемаси:

1-газ ташувчи баллон; 2-газни тозалаш блоки; 3-галлий-органик

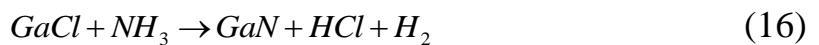
бирикмали барботер; 4-легирловчи күргошин манбаи; 5-таглик;

6-кварс реактор; 7-водород аралашмали гидрид баллонлар; 8-ротометр.

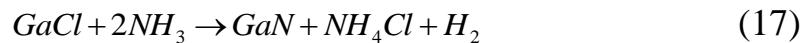
5-расмда бинар бирикмалар GaAs, GaP, GaN ва қаттиқ эритмалар  $\text{GaAs}_x$ ,  $\text{P}_{1-x}$ ,  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ,  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ,  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ,  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$  ва бошқа газ фазадан ўстириш мүмкін бўлган бошқа аралашмалардан эпитаксиал ўсиш ва легирлаш учун қурилма схемаси кўрсатилган.

Газ фазада GaN эпитаксияси биргина шу усулда олиниб, у бу материал асосида технологиялашган монокристалл қатламини олишни таъминлайди.

Эпитаксияни хлорид-гидридли  $\text{Ga}-\text{HCl}-\text{NH}_3-\text{Ar}(\text{He})$  тизимда олиб борилади. Галлийни хлорлаш соҳа температураси  $800^0$ – $850^0\text{C}$  бўлганда галлий субхлориди  $\text{GaCl}$  ҳосил бўлгунча давом эттирилиб, сўнг инерт газ оқимида ўстириш соҳасига аммиак тўғридан-тўғри тагликка берилади. Бу ерда  $1050^0$ – $1100^0\text{C}$  температурада гетероген реаксия юз беради:



Қисман жараён қуидагида бўлиши ҳам мумкин:



Реаксияда қатнашувчи газлар ва буғлар зичлиги бўйича бир-биридан кучли фарқ қиласи, шунинг учун эпитаксиал ўстириш бир жинсли бўлиши учун газ оқимларини юқори тезликда ўтказилади. Шунинг учун бу аралашмагулхан режим деб аталади. Бунда газ аралашма гомогенлашмаган бўлади ва у  $A^{III}B^V$  бирикмалар эпитаксиясидан фарқ қиласи.

Таглик сифатида одатда йўналиши (0001), (1120) ёки (1012) бўлган саприфлардан фойдаланилади, кейин улар водородда юқори температурали едиришдан ўтказилади. Қатламнинг ўсиш тезлиги  $\sim 1\text{мкм}/\text{мин}$  бўлиши мумкин.

Галлий нитриди асосида ёруғлик диодлари битта жараёнда олинади. Олдин азот панжарасида вакансия ҳисобига юқори электрон ўтказувчаникка эга бўлган легирланмаган қатlam ўстирилади. Кейин бу қатlam устига кўрғошин билан легирланган концентрацияланган i-қатlam ўстирилади. Легирланган қатlam ўсиши  $900^0\text{C}$  да амалга оширилади.

### **3-§. Бинар ва кўп қатламли бирикмаларни суюқ фазадан эпитаксиялаш.**

Суюқ фазада эпитаксия кўпчилик  $A^{III}B^V$  бинар ва учлик яримўтказгич бирикмаларни ўтқазиш учун, айниқса турли тагликларда кўп қатламли р-п ва изотурдаги тузилмаларни олиш учун қўлланилади.

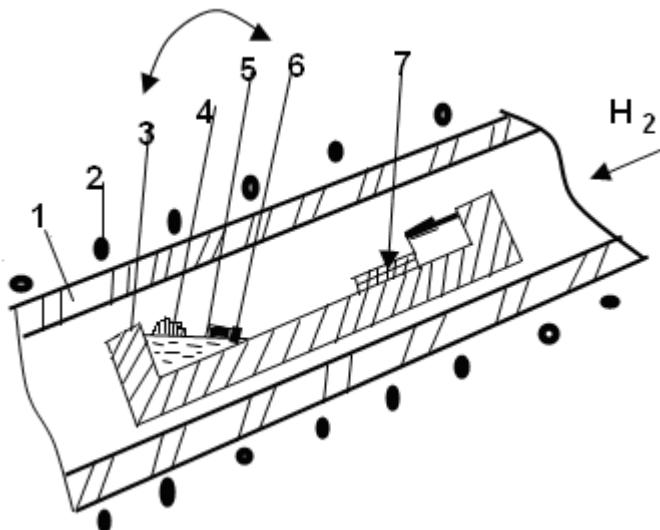
Суюқ фазали эпитаксиянинг афзалликлари: стехиметрик эритмадан фойдаланиш зарур эмаслиги; фаза ўсиши температура комбинацияси ва ликвидус чизигига яқин таркибда юз бериши; бу ўз навбатида қатламларда кимёвий тузилиш нуқсонлари зичлигини камайтиришга, температура пасайиши билан кўпчилик киришмаларнинг тақсимот коэффициентининг камайишига имкон беради. Иссиқлик вакансиялар зичлиги ҳам камаяди.

Суюқ эпитаксияда ликвидуснинг ҳар қандай нуқтасида кристалланиши ва унга енгил учувчи таркибовчиларнинг бу босими камайиши содир бўлади. Масалан, галлий асосида қотишка-эритмадан  $1000^0\text{C}$  да GaP ни ўстиришда фосфор  $P_2$  буғ босими  $10 \text{ Pa}$  ташкил қиласида натижада фосфорнинг йўқотилишлари етарлича оз бўлади. (Стхиометрик қотишмадан  $1470^0\text{C}$  да ўстиришда фосфор босими  $3,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  ни ташкил қиласида).

Суюқ эпитаксия жараённида ўсиш тезлиги кичик бўлганлиги сабабли қатлам қалинлигини юқорироқ аниқлиқда бошқариш имконини беради. Бу усул диффузион ва бошқа шакллар ҳосил қилувчиларга нисбатан ҳам бир қанча марта кўп афзалдир. Бу айниқса, кўп қатламли, даврий тузилмаларни олишда аҳамиятлидир.

Суюқ фазада эпитаксия усули, тагликка нисбатан, қатламда дислокация зичлиги камайишига олиб келиб, ёруғлик асбобларида юз бералидиган нурланишсиз рекомбинация жараёнларини камайтиради.

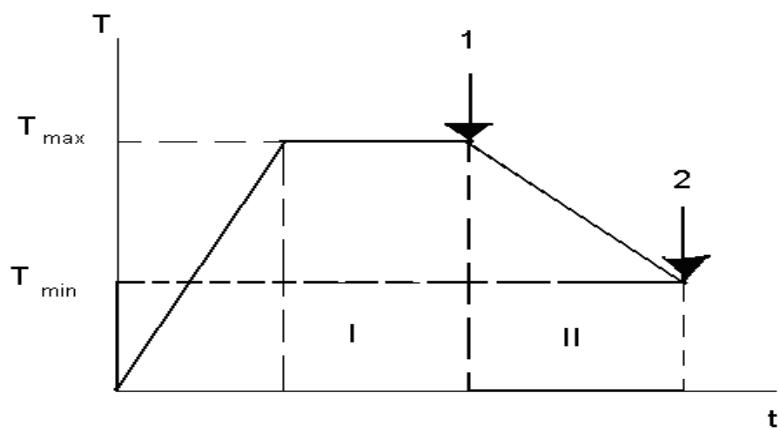
Суюқ фазадан эпитаксия олиш усулларини иккита катта гурухга бўлиш мумкин. Улардаги фарқ қатlamда киришмаларнинг охирги тақсимоти билан аниқланади.



6-расм. Нелсон усули бўйича суюқ эпитаксия учун контейнер схемаси:  
1-Кварс реактор; 2-қаршилик электр печи; 3-графит қайиқча; 4-модда-манба;  
5-лигатура; 6-эритма (гелий); 7-таглик.

- Йўналиши кристалланиш усули.** Бу ҳолда эпитаксия маълум таркибидаги суюқ фазадан ва ташқи муҳит билан ўзаро таъсирсиз ҳажмда бўлади. Эпитаксия жараёнида суюлма ҳажми камаяди.
- Дастур соҳали қайта кристалланиш усули.** Бунда ташқи фазада вақт давомида кам ўзгарувчи маълум ҳажмли суюқ фазали қатламлардан фойдаланилади. Биринчи гурух усуллари учун қатламнинг бутун қаламлиги бўйича киришмалар тақсимоти бир жинсли эмаслиги характерлидир. Суюқ эпитаксиянинг классик усули Нелсон томонидан тақдим қилинган бўлиб, контейнернинг (максус идиш) қарама-қарши томонларига бошланғич эритма таркибовчилари ва таглик жойлашган бўлади (6-расм).

Одатда конструксияси буралувчи ёки чайқалувчи (тебранувчи) печдан фойдаланилади. Кўрилаётган тизимни фаза диаграммасининг қўринишидан аниқланган температурада ушлаб турилгандан сўнг ва хосил бўлган суюқ фазада тўйинган эритма маҳкамланган тагликка қўйилади. Системани секин совитиш билан эритманинг ўрта тўйиниши, унинг емирилиши ва эпитаксиал қатлам қўринишида тагликда эритма модданинг ажралиб кристалланиши пайдо бўлади. Шу пайтнинг ўзида легирлашни ҳам амалга ошириш мумкин.



7-расм. Суюқ эпитаксияда температура-вақт режими: I-эритманинг тўйиниши соҳаси; II-кристалланиш соҳаси; 1-тагликнинг қотиши билан контакти; 2-тагликдан қотишманинг кетиши.

7-расмда суюқ эпитаксияда температуранинг вақтга боғлиқ режими кўрсатилган. Эритма совуши тезлиги 1-10К/мин ташкил қиласди.

Кейинги йилларда арсенид, галлий ва унинг бирикмаларининг монокристалларини анъанавий усуллар бўйича ўстириш билан бирга эпитаксиал усуллар ҳам кенг қўлланилмоқда. GaAs нинг монокристаллик қатламларини ўстиришда айниқса газ ҳайдаш ва суюқликдан эпитаксиялаш усуллари кўп тарқалган. Газ ҳайдаш эпитаксиялаш усулининг ҳар ёқламалиги, ихчамлиги ва кристалл ўстириш жараёнини бажаришининг қулайлигига қарамасдан газ оқимини тозалаш ва бошқаришда турли

қийинчиликлар билан боғлиқ. Шунингдек анча мураккаб асбоб ва ускуналардан фойдаланилади.

Монокристалл қатламларни эриган металлардаги эритмалардан ўстиришда (суюқликдан эпитаксиялаш) анча тез ва содда йўл билан тоза ва назорат билан аралашмалар киритилган пардаларни ҳосил қилиш имконини беради.

Суюқ фазали эпитаксия усули тўйинган яrimўтказгич материал эритмасидан яrimўтказгич монокристалл қатламини ўстиришдан иборат. Эритмага чўқтирилган яrimўтказгич таглик сиртида уни совитиш натижасида кристалланиши юз беради. Кўпчилик ҳолларда суюқ фазадан кристалланишда эритувчи сифатида яrimўтказгич суюқ ҳолатида эрувчанлиги юқори бўлган металл, масалан, Al-Si ёки Au-Si тизимдан фойдаланилади.

Яrimўтказгич бирикмаларининг суюқ фазада эпитаксиясини олиш учун эритувчилар сифатида осон эрувчи бирикма таркибловчилари, масалан, GaAs ва GaP учун Ga қўлланилади. Бу эса кристалланиш температураси камайишига, таглик-эритма чегарасида температура градиенти камайишига олиб келади ва ўстирилган қатlam тозалигини оширади.

Бу усулларга нисбатан анча истиқболли бўлган газ ва суюқ эпитаксиал усул ҳам бор. Яrimўтказгич таглик сиртига эвтектив таркибли суюқ фазани ҳосил қилувчи юпқа металл қатlam суркалади. Бу паст температураларда эпитаксиал қатламларни олиш имконини беради.

Яrimўтказгич атомлари суюқ қатlam билан таглик ҳосил қилган чегара орқали газ фаза орқали ўтиради ва уларнинг диффузияланиши натижасида кристалланиш юз беради. Бу ерда эритма қатлами 1 мкм дан ошмайди ва амалда эпитаксиал қатlam ўсиш тезлиги эритмада диффузияланиш вақтига боғлик бўлмайди.

Ўсуви эпитаксиал қатламлар сифати кўп жиҳатдан температура ва газодинамик шароитларига боғлиқ. Шунинг учун ўстириш усулларига юқори талаблар кўйилади. Эпитаксиал ўстириш жараёни амалга етаётган қурилмадаги реакторлар тузлишига боғлиқ. Уларнинг горизонтал ва вертикал хиллари бор.

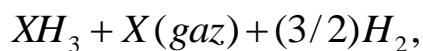
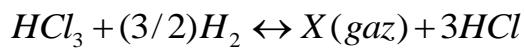
Суюқ фазадан эпитаксиялаш йўли билан кристалл ўстириш усулини Вольф таклиф этган эди. Унга кўра суюқ эпитаксиялаш усули системанинг очиқ ва ёпиқ ҳолатида ошиши мумкин. 1963-йилда эса Нельсон очиқ системада қалай устига GaAs ни ўстириш имкониятига эга бўлди. Бу технологияда қаттиқ, суюқ ва буғ фазалар орасида фазовий мувозанат юзага келмаган бўлса, ҳам унинг оддийлиги уларнинг тез тарқалишига сабабчи бўлди. Ёпиқ эпитаксиялаш усулида очиқ усулнинг камчиликлари бўлмаган тақдирда ҳам, ёпиқ усулга хос қатор камчиликлар мавжудки, улар туфайли кўп ҳолларда бу усулдан кристалл ўстиришда фойдаланилмайди. Масалан, ўстириш жараёнида бутунлай тозаликга эришиб бўлмайди. Ёпиқ эпитаксиялаш усулида кристалл ўстириш кавшарланган кварц ампула ичидаги амалга ошади. Ампула маълум юқори ҳароратгача қиздирилиб, шу ҳароратда бироз муддат сақланади. Бу пайтда кварц шишадан суюқ эритмага турли газ атомлари сўрилиб ўтади. Бундан ташқари, кавшарланган ампула билан ишлаш анча машақкатлар тугдиради, чунки унинг ичидаги бир жинсли эритма юзага келиши учун у силкитиб турилиши керак, бунга эса ампуланинг тўла герметикланиши ҳалақит беради.

#### 4- §. Эпитаксиал қатламларни легирлаш усуллари.

Эпитаксиал усулда ўстирилган қатламларни легирлаш турли хусусиятга эга бўлган қатламлар олишда аҳамияти катта. Шу сабабли бу ерда легирлаш босқичлари хусусида айрим маълумотларни келтираман.

Керакли солиштирма қаршиликли эпитаксиал қатламларни олиш учун қаттиқ фазада аник миқдорда киришмалар киритиш керак. Эпитаксия жараёнида киришмаларни киритиш учун учувчи бирикмаларнинг III ва V гурӯҳ элементидан фойдаланилади. Бу моддаларга галогенидлар ( $\text{PCl}_3$ ,  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{SbCl}_5$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{BBr}$ ) ва гидридлар ( $\text{PH}_3$  –фосфид,  $\text{AsH}_3$ -арсин,  $\text{B}_2\text{H}_6$ -диборан) киради.

Галогенидлар ва гидридлар қатнашишида легирлаш реакцияларини қўйидагича ёзиш мумкин:

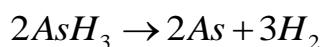


Донор киришмалар билан кремнийни легирлашда бу реакцияларнинг мувозанати ўнг томонга кучли силжиган бўлиб, амалий жиҳатдан киришма бирикмаларининг тўла айланиши юз беради.

Эпитаксиал қатламларни легирлашнинг асосий усуллари қўйидагилар киради: газ аралашмали, суюқ легирлаш ва газ разряди.

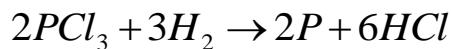
**Газ аралашмали усулда** киришма манбаи сифатида ҳажм бўйича  $10^{-2}$ - $10^{-4}\%$  учувчи гидридли легирловчи элемент бўлган инерт газ аралашмасидан фойдаланилади. Усул ўсуви қатламни кучсиз легирлашни амалга оширади.

Аргонли 0,01%AsH<sub>3</sub> ёки аргонли 0,01%B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> дан иборат газ аралашма камера бўйича оқаётган водород оқимиға қўшиб юборилади. Бу эса аралашма концентрациясини қўшимча суюлтириш ва қатламда концентрация сатхини яхши бошқариш мумкинлигини таъминлайди. Диборанли газ аралашмасида солиштирма қаршилиги 1 Ом·см дан катта бўлган кремний қатламларини олиб бўлмайди. Шунинг учун қаттиқ ва суюқ манбалардан фойдаланилади. Газ кўринишидаги манбалардан қўп қўлланиладигани арсеникдир. Газ тагликка етказилади, улар сиртга юритилади.



озод бўлган арсеник кремнийнинг ўсуви қатлам панжарасида жойлашади.

**Суюқ легирлаш усулида** легирловчи киришма манбаи сифатида галогенидлар PCl<sub>3</sub>, POCl<sub>3</sub>, BBr<sub>3</sub> ва бошқа бирикмалардан фойдаланилади. Галогенидлар кремний тетрахлоридида яхши эрийди, осон буғланади ва ўтувчи водород оқимида тўйинади. Манба киришма буғлари иссиқ сиртда водород билан тикланади:



Галогенидлар юқори буғ босимига эга бўлиб температурага кучли боғлиқ, шунинг учун температуранинг озгина ўзгариши ўсуви қатламдан киришма концентрациясининг кескин ўзгаришига олиб келади. Кейинги вақтда бор билан легирлаш учун буғ босими температурага кучсиз боғлиқ бўлган юқори температурада қайновчи бирикмалар қўлланилмоқда. Бу бирикмалар олинган кремний қатлам солиштирма қаршиликлари 0,005 дан 5 Ом·см оралиғида ётади.

**Газ разрядли усулда** қаттиқ манбалар сифатида B<sub>4</sub>C, AlB<sub>2</sub>, Sb (1...2)%As қотиши маҳсулоти ва бошқалар ишлатилади. Улар газ разрядли камерада электродлар вазифаси ўтайди. Ишчи реакторли курилмага уланган

электродлар орасига импульс кучланиш бериш натижасида камерада учқунли разряд юз беради. Учқунли разряд плазмасида электрод материаллар қисман буғланади. Водород билан кўчувчи буғлар қурилманинг реакция зонасига етади. У ерда уларнинг эркин легирланувчи киришмаларга ажралиши билан ёйилиши юз беради. Киришма концентрациясини электродлар орасидаги масофани ўзгартириш, электродларга берилаётган кучланиш, такрорийлик ва импульслар давомийлиги бериш ҳамда газ разрядли камера орқали ўтаётган водород оқими тезлиги билан бошқариш мумкин.

Кремний n –ўтказувчанликдаги қатламни олиш учун электрод материаллар сифатида сурмали Sb+0,1% ёки Sb+1%As, ҳамда GaP, GaAs ёки InSb қотишмаларидан фойдаланилади. Газли учқун разряд бу моддалар сочилиши туфайли парчаланади, бунда P, As ва Sb водород билан бирикиб гидридлар хосил қилиб, электродлар орасида кўчади. Таглик зонасида гидридлар сочилади ва киришмалар ўсувчи кремний қатламига киради. Галлий гидридлар хосил қилмайди ва камерадан эпитаксиал қатламларни олиш учун лантан борид LaB<sub>6</sub>, алюминий борид AlB<sub>2</sub>, бор карбиди B<sub>4</sub>C электродларидан фойдаланилади. Бунда бор водород билан диборар хосил бўлади. газ фазада киритилаётган киришмалар зичлигини учқун разряд такрорийлигини бошқариш билан ўзгартириш мумкин.

### **III-Боб. Мураккаб тузилмали гетероўтишлар ва уларнинг физикавий хоссалари.**

#### **1-§.Гетероўтишларда ҳақида умумий маълумотлар.**

Тақиқланган зоналар кенглиги ҳар ҳил бўлган икки ярим ўтказгич чегарасида вужудга келадиган ўтиш қатлами гетероўтиш дейилади. Масалан,

$Ge-GaAs$ ,  $GaAs-GaP$ , контактлари гетероўтишлар бўлади.

Гетероўтишларни олиш усуллари яхши ишлаб чиқилган. Гетероўтишлар кескин чегарали ёки силлик ўзгарувчан чегарали, симметрик ёки носимметрик бўлиши мумкин. Кескин чегарали гетероўтишлар ташкил этган моддалар чегарасида тақиқланган зона кенглиги сакраш билан (кескин) ўзгаради, силлик ўзгарувчан чегарали гетероўтишлар қандайдир қатlam давомида тақиқланган зона кенглиги текис ўзгариб боради. (варизон гетероўтишлар). р-  $n$  — изотип гетероўтиш, р-  $n$  — анизотип гетероўтиш тасвиirlанган. Уларнинг иккаласи ҳам кескин ўтишлар турига мансуб бўлиб, чегарасида ўтказувчанлик зоналарини  $\Delta E_c$ , валент зоналари  $\Delta E_v$  узилишларга эга.

Гетероўтишларнинг қўлланилиши, гомоўтишлардан фарқли равишда, турли амалий мақсадларда фойдаланиладиган бир қатор ҳодисаларнинг юз беришига олиб келади. Масалан, галлий, арсений ва алюминий элементлари бирикмаси асосида гетеролазерлар ишлаб чиқилган, бунда бир ҳил, аммо  $n$  — ва р-тур ўтказувчанлик икки кристалл орасидаги бошқа тор тақиқланган зонали ярим ўтказгич қатлами ҳосил қилган. Ўртадаги қатламда заряд ташувчилар зичлигини катта қилиш осон бўлади ва бу ажойиб лазер хоссаси намоён бўлишига имкон беради.

Гетероўтишлардагигна ҳос яна бир муҳим ҳусусиятни айтиб ўтиш зарур. Гетероўтишнинг икки модда чегарасида кристалл тузилиши ўзгаради, оқибатда узилган кимвий боғланишлар пайдо бўлади, бу эса шу чегарада

электронлар учун энергия ҳолатлари ҳосил қиласи. Ушбу сиртий ҳолатларнинг гетероўтишларда юз берадиган жараёнларда тутган ўрни муҳимдир. Гетероўтиш соҳасидаги майдоннинг шаклланишида бинобарин, бу тизмнинг электр сифимини аниқлашда сиртий ҳолатлардаги заряд миқдори сезиларли ҳисса қўшиш мумкин. Мазкур сатҳлар орқали рекомбинация жараёнлари амалга ошади. Баъзи ҳолларда уларнинг кўп бўлиши мақсадга мувофиқ эмас. Хуллас, гетероўтиш чегарасидаги сиртий сатҳлар унинг ҳусусиятларини белгилайдиган муҳим омиллардан бири ҳисобланади.

## **2-§. GaAs асосда гетеротузилмаларни эпитаксиал ўстириш технологияси.**

Ҳар қандай атомларнинг аралашмасидан кристалл қаттиқ жисм ҳосил қилинганда атомларнинг жойлашишида узлуксизлик шартларига амал қилинади. Акс ҳолда атомлар жойлашишида кристалл панжараға хос бўлган тартиб бузилади ва турли дислокациялар юзага чиқади. Мураккаб бирикмаларнинг қаттиқ қотишмаларини ҳосил қилишда ҳам шу тартиб бузилмаслиги керак. Бунинг кристалл ўстиришда кристаллокимёнинг термодинамик принципларига амал қилинади. Бу принципларга кўра таркибовчилари кимёвий елементлар атомларидан иборат бўлган ҳар қандай тизимда елементларнинг миқдорлари қандай бўлишидан қатъий назар атомлар орасида кимёвий ўзаро таъсир юзага келади. Паст ҳароратларда атомлар эффектив зарядлари ва ўлчамларига мос ҳолда бир –бирига нисбатан ўзаро таъсир энергияси минимал бўладиган ҳолатни эгаллашга ҳаракат қиласидилар. Лекин атомларнинг бундай жойлашишига кристалл тузилиш имкониятлари тўсқинлик қиласиди. Юқори ҳароратларда эса бу тўсқинлиқда атомларнинг иссиқлик ҳарорати ҳам қўшиласиди. Шунга қарамай, маълум иссиқлик шароитларида энтропиянинг ўзгариши ҳисобига тизимнинг термодинамик потенциялиниң намойиши кузатилади. Бу эса энергетик жиҳатдан тузилиш тўсиқлари мавжуд бўлган ҳолда ҳам турли таркибовчи элементлар(бирикмалар) нинг ўзаро ўрин алмашишидан ҳосил бўладилар қаттиқ қотишмалар ўстириш мумкинлигини кўрсатади.

Маълумки, мураккаб бирикмалар ва улар асосидаги қаттиқ қотишмаларнинг кристалларини суюқ фазадан епитаксиялаш усули билан ўстиришда қотишима таркибига киравчи таркибовчи атомлар ёки малекулаларнинг ўзаро таъсирига асосланади.

Суюқ фазали эпитаксия усули түйинган яримүтказгич материал эритмасидан яримүтказгич монокристалл қатламини ўстиришдан иборат. Эритмага чўктирилган яримүтказгич таглик сиртида уни совитиш натижасида кристалланиши юз беради. Кўпчилик ҳолларда суюқ фазадан кристалланишда эритувчи сифатида яримүтказгич суюқ ҳолатида эрувчанлиги юқори бўлган металл, масалан, Al-Si ёки Au-Si тизимдан фойдаланилади. Яримүтказгич бирикмаларининг суюқ фазада эпитаксиясини олиш учун эритувчилар сифатида осон эрувчи бирикма таркибовчилари, масалан, GaAs ва GaP учун Ga қўлланилади. Бу эса кристалланиш температураси камайишига, таглик-эритма чегарасида температура градиенти камайишига олиб келади ва ўстирилган қатlam тозалигини оширади.

Кўриб ўтилган усулда  $Al_x GaAs_{1-x}$  эпитаксиал қатламларни ўстириш технологияси ва ўстирилган қатламларнинг фотоэлектрик хоссалари кейинги бобда кўриб чиқилади.

#### **IV Боб. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ таркибли қаттиқ қатламларни эпитаксия усулида ўстириш ва уларнинг фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш.**

##### **1-§ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ катламларни ўстириш технологияси**

Хозирги пайтда суюк фазадан эпитаксияпаш усулининг жуда кўп такомиллашган хиллари ишлаб чиқилди. Улар бир-биридан шакли ёки кайта ишлаш сонлари билан фарқ қиласада, эритмани совутишни назорат килиш хоссалари сақлаб колинади.  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  нинг каттик коришмлари чекланмаган микдордаги қоришка-эритмали мухитидан ўстирилганда эритмани шакллантирувчи компонента Al нинг микдори камайгани сари хосил бўлган катлам пардасининг калинлиги бўйлаб такиқданган соҳа кенглигининг турли даражада торайиши, айникса эритма таркибидаги моддалар микдори  $0 < x < 0,4$  бўлганда кучли намоён бўлади. Изотермик бўлмаган шароитларда котишма хосил бўлиш хароратининг пасайиши билан алюминийнинг таксимот коэффициенти ортиб боради. Шу билан бирга, кристалланиш жараёнида кристалл таркибига қўшилаётган Al микдори ортиб боради; эритмада эса унинг микдори тоборо кўпроқ камаяди. Al нинг таксимот коэффициентининг харорат пасайиши билан ортиб бориши эритмадаги алюминий микдорининг камайишини тўлдира олмайди, чунки таксимот коэффициенти барча ўсиш жараёнига тегишли.

Алюминий текис тақсимланган  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  катламларини ҳаракатланадиган эритувчи методи билан олиш мумкин. Бу усул маълум таркибга эга бўлган моддани изотфмик шароитда температура градиенти бўлган холатда кайта кристалланиш йўли билан амалга ошириш мумкин. Алюминий ва арсенид галлий кукини  $x < 0,4$  микдорда кўшилган металл-эритувчи усули ишлатилганда парданинг калинлиги бўйлаб AlAs нинг концентрациясининг камайиб бориши кузатилади. Шундай килиб, кайта кристалланиш усули билан алюминий текис тақсимланган сезиларли

калинликдаги монокристалл пардасини олиш мумкин экан.

Очик холда суюк эпитаксиялашнинг турли вариантлари ичida таглик кристаллни эритмага вертикал чўқтириш усулининг бир мунча афзалик белгилари бор. Бунга коришма хосил киладиган аралашманинг камайиши эътиборга олинмайдиган бўлса катта хажмли қоришма-эритма мухитидан монокристалл катламларни ўстириш мумкин бўлади. Бу холда эритма жойлашган идиш ва таглик алохиди жойлашгани туфайли эримаган таглик устига кристалл пардасини ўстириш учун зарурий харорат хосил килинади. Эритма жойлашган идишни айлантириш йўли билан эритманинг аралашиб туриши таъминланади.

## 2-§. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ қатламларнинг фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш ва тажриба натижалари тахлили.

Каттиқ ва суюқ фазаларда эритма таркибига кирувчи моддалар микдори холатлар диафаммасидан аникланган нисбат концентрациялар таксимотининг **мувозанат коэффициенти** деб аталаци. Аслида бу каттиқ холатга мувозанатли ўтишнинг идеал ҳоли хисобланади. Бунда концентрацияси ва харорат градиентлари хисобга олинмайди ва каттиқ холатга ўтиш жараёнининг нихоятида суст давом этиши туфайли каттиқ ва суюқ кисмлардаги концентрация фарқлари диффузияланиб тенглашади деб каралади.

Амалда эса қаттиқ холатга ўтиш жараёни сезиларли  $V >> 0$  тезлик билан амалга ошади. Бунда таркибий моддаларнинг каттиқ ва суюқ холатлардаги концентрациялари орасидаги фарқ кристалланиш чегарасигача диффузияланиш жараёни, эритма аралаштириб турилмагандан мишъяқ ва алюминийнинг диффузия коэффициентлари билан аникланади. Агар эритма аралаштириб турилса, эритмадаги компонентлар кристалланиш чегарасига уларнинг конвекцияси туфайли етказиб турилади.

Моддалар таксимотининг  $K_o$  мувозанат ва  $K_{\phi}$  эффекттив коэффициентлари орасидаги боғланишни кристаллнинг ўсиш тезлигини, кристалланиш чегарасидаги диффузия жараёнларини ва чегара сиртлардаги суюклик окимининг холатини хисобга олиб, қуйидаги формула билан ифодалаш мумкин.

Бу ерда V-кристалланиш тезлиги, см/с;  $\delta$ -диффузия катлами қалинлиги, см; D-аралаашма ёки компонентапарнинг диффузия коэффициентлари, см/с.

Агар чекланган хажмли эритмаларда таглик устидаги эритма баландлиги диффузия сохаси кўлами кадар бўлса, эритмада Al нинг микдори тез камайиб боради ва ўсаётган пардада AlAs нинг қалинлик бўйлаб градиенти юзага келади. Бундай холат айниекса эритмада алюминий микдори кам бўлганда жула хам сезиларли бўлади. AlAs таксимотида градиент хосил бўлишига парданинг ўсиш тезлиги хам кучли таъсир кўрсатади. Суюкпикдан эпитаксиялашда пардалар хосил

$$(\delta = 0,02 \text{ м/с})$$

бўлиш тезлиги  $3 \cdot 10^{-5} - 10^{-7}$  см/с оралигига бўлади ).

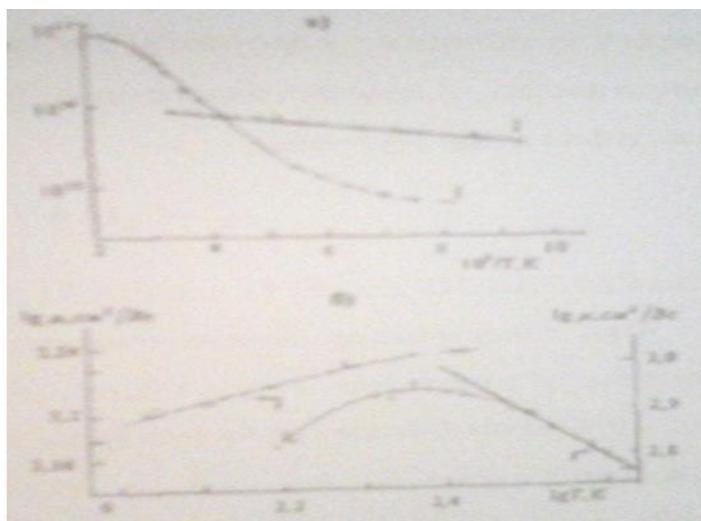
Ўртacha ўсиш тезликлигига AlAs нинг парда бўйлаб текис таксимотига эпитаксиялаш жараёнида коришма-эритмани мажбурий аралаштириш йўли билан эришиш мумкин. Харакатсиз асос кристаллга нисбатан эритма жойлашган идиш  $30^{\circ\text{C}/\text{мин}}$  тезлик билан айлантириб турилади. Бундай холда таксимотнинг эффектив коэффициентини қуидагича ифодалаш мумкин:

Бу тенгламадаги  $\ln(1-1/K_{\phi})$  хаднинг ўсиш тезлиги V га боғликлік графигини чизиб, бу боғланиш чизигининг ордината ўқидаги кесмасидан  $K_0$  ни, унинг киялик бурчаги тангенси оркали  $\delta/D$  с/см нинг микдорини аниклаш мумкин.

Гетероўтишлар оркали оркали ток ўтишининг ажойиб хусусиятлари бутунлай янги хилдаги асбоблар яратиш имкониятини юзага келтирди. Маълумки, гетероўтишда турли материалларнинг контактни чегарасида электрон ва коваклар учун потенциал тусик юзага келади. Гетероўтиш асосида ясалган асбобларнинг ишчи оохаси гетероўтиш чегараси хисобланади. Бу чегара хоссаси контактга келтирилган моддаларнинг физикавий параметрларига боғлик бўлади. Бу параметрларга моддаларнинг чизикили кенгайиш коэффицентлари, такикланган соҳалари кенглиги, электронли ўхшашлиги, диэлектрик доимийпиги ва синдириш коэффицентлари киради. Материалларнинг хажмий хоссалари, иссиқлик ўтказувчанлиги, зичлиги, массаси ва х.з. гетероўтишнинг хоссаларига кам таъсир кўрсатади. Шу сабабли  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  нинг каттик қотишмаларининг электрик хоссалари кам ўрганилган эди. Алюминийнинг катламда нотекис таксимота хам унинг хажмий хоссаларини ўрганишга имкон бермаган. Вертикал тортиш усули билан суюк фазадан эпитаксиялаб ўстирилган пардаларни микрорентген тахлил килиш натижалари Al нинг парда бўйлаб текис таксимотани кўрсатади. Шу сабабли бу хил пардаларнинг электрофизик хоссаларини ўрганиш тажрибалари ўтказилди ва унинг натижалари ушбу ишда келтирилади ва тахлил қилинади.

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  катламларни олиш учун яrim изоляцияловчи арсенид галлийли асосларда (АГП) ус<sup>ТМ</sup>рилди ва [III] йуналищда шаклланган пардалар танланиб, уларнинг солиштирма каршилиги  $p$  ва Холл доимийси  $R_x$  ўлчанади. Тажриба доимий ток билан Van der Paу усулида утказилди. Контакт си фата да  $J_n$  ёки  $J_n + \text{Au}$  коташмасидан фойдаланилди. Коташма таркибида  $x=0.3$  булган каттак коташмали пардада электронлар концентрациясининг харорат билан бояганиши 9-расм-а да эгри чизик билан кўрсатилган( $f=n(T)$  боғланиш).

Хароратнинг 140 К дан паст қийматларида электронлар концентрацияси деярли ўзгармай колади, яни тўйинади. Бундай хароратда электронларни майда аралашмалар хосил килади:  $n=8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Бу боғланишдаги иккинчи тўйиниш  $T>400$  К хароратларда намоён бўлади. Бу холатни чукур холатлардаги донорларнинг ( $N_r$ ) тўла бўшаб қолиши билан изохланади. Дастребки чукур аралашмалар концентрацияси  $N_{ro}=7,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  бўлган бўлса,



расмдан  $n(10^3-T)$

8-расм.

боғланишидан чукур аралашмалар учун  $N_r=7,3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  аникланади.

Тўгри чизикнинг киялигидан чукур сатхларинг ионизацияси потенциали  $E_f = 0,22$  эВ экани аникланди. Холл тажрибаларидан хароратнинг 70-400 К оралигига электронлар харакатчанлиги  $\mu = T^{-1}$  экани аникланди (8-расм, б, 1-эгри чизик). Аникланган чукур сатхларнинг пайдо бўлишини панжара нуксонлари билан боғлаш мумкин.

Хром билан  $C_{er}^c = 0,5\%$  ат % холатда легирланган пардаларда электронлар концентрациясининг хлоратга боғланиши 8-расм, а, 2-эгри чизик билан кўрсатилган ( $n=f(T)$  боғланиш). Бу боғланишдан кўриниб турибдики,

хароратнинг 95-100К оралигига электронлар концентрацияси жуда кам камиади, уларнинг харакатчанлиги хам камаяди. Электронлар харакатчанлигининг хароратга боғланиши 8-расм, б да, 2-эгри чизик билан тасвирланган. Харакатчанликнинг бундай ўзгаришини қўйидаги формула билан ифодалаш мумкин;

$$\mu_B = C_B \exp\left(-\frac{E_B}{KT}\right)$$

Бунда  $C_B=2,14 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/ВС ва  $E_B=31$  МэВ деб олинади. Ток ташувчилик концентрацияси  $n_0=1,44 \cdot 10^{12}$  см<sup>-3</sup> дан  $3,7 \cdot 10^3$  см<sup>-3</sup> гача ўзгариши кўрсатилди. Парда қалинлиги  $d=3 \cdot 10^{-3}$  см, солиштирма қаршилиги  $\rho=1,5$  Ом\*см бўлган намуналарда ток кучи кучланишга деярлик квадратик боғланишга эгалиги аникланди. Парда қалинлиги  $d = 3 \cdot 10^{-3}$  см,  $\rho = 1,5 \cdot 10^8$  Ом\*см бўлган намуналарда  $J=f(U)$  боғланиш чизикини холатдан квадратик боғланишгача ва яна камайиш холати кузатилади. Намуна харорати ошиш билан бу боғланиш кичик кучланишлар томонга силжийди. ВАХ да кузатилган бу хусусиятлар бундай намуналарда ушловчи киришмапар анча “чуқур” жойлашганидан дарак беради. Юкори даражада компенсацияланган намуналарнинг ВАХ сида “S” характеристика кузатилди. Юкори хароратларда (~500К.) Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As катламлардаги тўлдирилган хром сатхларининг иссиклиқдан ионланиши содир бўлади ва шу туфайли киришмаларнинг фаоллашиш энергияси 250°-300К даги 0,35 эВдан 500 К да 0,72 эВга силжиши кузатилади.

Шундай қилиб, Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As нинг каттик қотишмаларидан яратилган i-n тузилмада ушловчи киришмаларнинг энергия бўйича таксимоти кузатилади. Бунинг сабаби-эпитаксиал катламда E<sub>g</sub> нинг бироз ўзгариши бўлиши мумкин. Al нинг калинлик бўйича таксимотининг ўзгариши легирловчи киришма концентрациясининг ўзгаришига олиб келади.

Тадқикотлар кўрсатадики, Ge-Si сингари изотипли гетероутишларда кристалл панжаралар доимийликлари орасида фарк бўлишилиги туфайли ўтиш чегарасида сирт холатлари юзага келиб улар гетероконтактнинг потенциал баръерини сезиларли даражада ўзгартириш мумкин.

Гетерожуфтларниг панжара доимийликлари бир-бирига жуда якин бўлганда, сирт холатлари гетероўтишнинг ўстириш жараёнида юзага келадиган нуксонлар ва ифлосланишлар билан боғлик бўлиши мумкин.  $\text{GaP}_x\text{Al}_{1-x}$ - Ga As гетероўтишларида номувозанат зарядларнинг ажратувчи асосий сабаб такикланган соҳада  $\Delta E_c$  узилиши ва  $\Delta E_g$  нинг ўзгариши туфайли юзага келган потенциал барер бўлиши мумкин. Бундан баръер зарядларни  $Df_v$  камайиш томонига силжитади. Яшаш вакти  $\tau = 10^{-8}$ с ва ҳаракатчанлиги  $\mu = 10^2 \text{cm}^2/\text{в}$  бўлган заррача учун  $\Delta E_g = 20$  эВ/см бўлганда дрейф силжиши узунлиги қўйидаги формуладан хисобланиб топилади:

Бу формулага тегишли микдорни қўйиб,  $L=02$  мкм кийматни оламиз.

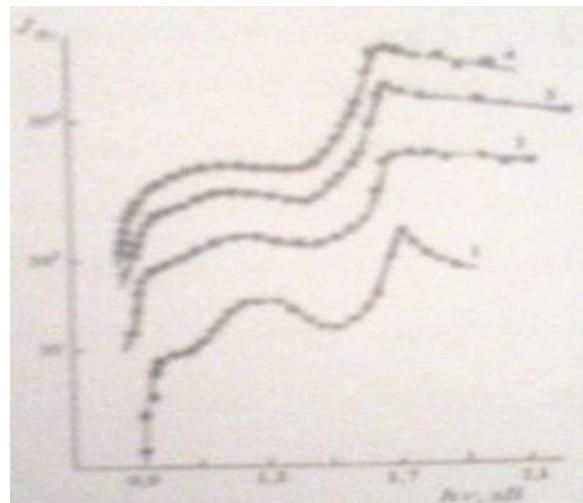
Шу билан бирга келтирилган катталиклардан номувозанатий зарядларнинг диффузия йўлини қўйидаги формуладан хисоблаб топиш мумкин:

$$L_{dif} = \sqrt{\frac{KT}{q}} \mu \tau$$

Агар  $T=120$  К деб олсак, (2) дан  $L_{dif}=1$  мкм кеяиб чиқди. Бундан кўриниб турибдики номувозанатий зарядларнинг дрейф ва диффузия йўллари бир-биридан кўп фарк килмайди.

Хосил килинган  $\text{Al}_{1-x}$ - GaAs нинг каттик қотишмалари ичидан  $x=0,2$  бўлган кристалларни ажратиб олиб, уларга оник контактлар ўрнатилди. Бу намуналарда 300 ва 110К хароратларда фотоўтказувчаликни ўрганиш

тажрибалари бажарилди ва уларнинг қисқа туташув токининг тушаётган нури энергиясига боғлиқлик хоссалари ўрганилди. Тажриба натижалари 9-расмда келтирилган.



9-расм.

110 К ҳароратда киришмаларда ва хусусий ютилиш соҳасида фототокнинг ишораси ўзгармайди. Киришмаларга тегишли бўлган 0,92 ва 1,1 эВ энергиясини силжимас иккита ютилиш соҳаси ажралиб туради (9-расм, 1-чизик). Бундаги узун тўлкин соҳадаги фототокнинг кучайишини кириталган хром аралашмалари билан боғлаш мумкин. Хром аралашмаси билан боғлик бўлган соҳа энергияси  $T=300^{\circ}\text{К}$ да 0,82 эВ га tengbўлган холатда кузатилади. Албатта, ҳароратнинг 110K гача пасайиши ютилиш соҳасининг катта энергиялар томонига силжишига олиб келади. Спектрда кузатилган бу хусусиятни каттик котишма  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  нинг такикпанган соҳасидаги 0,82-0.92 эВ энергетик оралиқда бир канча кўзғатилган аралашма сатхлари мавжудлигини билдиради, деб караш мумкин. Паст ҳароратларда спектрнинг узун тўлкинили кисмига жавобгар бўлган хром аралашмалари билан боғлик

сатхлар нейтрал холатга ўтади ва 110К да юкори энергияли холатлар спектрдаги ютилишни намоён килади, деб изохлаш мумкнин.

Намунаға қўйилган тўғри кучланишнинг ошиши табийи равишда фототокнинг хам кучайишига олиб келади. (9-расм, 2-4 чизиклар). 1,1 эВ энергетик соҳадаги ютилишнинг табиатини аниқиаш имкони бўлмади. Ташки кучланиш хром аралашма билан ва 1,1 эВ соҳа билан боғлик спектр кўринишига таъсир кўрсата олмади.

## **Хулоса**

Битирув малакавий ишимда келтирилган маълумотлар асосида қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин.

1) Кейинги йилларда яrimўтказгич асбоблар ва улар асосида тайёрланган курилмалар хаётимизга тобора кенг кўламда кириб келмоқда. Бунинг асосий сабаби яrimўтказгичларнинг ажойиб хоссаларири: улар ташки таъсирларга жуда сезгир, улар заминида ишлаб чиқарилаётган асбобларнинг ўлчамлари кичик, узок муддат камчиликсиз ишлай олади ва бажарадиган хизматлари кўлами жуда кенг, турли ташки таъсирларга чидамли, жуда кам энергия исроф килиб ишлай олади ва хокоза.

Шу билан бирга яrimўтказгич моддалар асосида янги хоссага эга бўлган асбоблар яратиш ва уларнинг имкониятларини кенгайтириш максадида яrimўтказгичлар устида олиб борилаётган илмий тадқикот ишларини кенгайтириш хозирги замон фанида муҳим ўрин тутади ва бу масала яrimўтказгичли асбоблар техникасининг долбзарб масалаларидан хиообланади. Бу тадқикрт ишлари хоссалари олдиндан белгиланган асбоблар яратиш учун замин яратишгина эмас, шу билан бирга хоссалари бутунлай янги бўлган яrimўтказгич моддаларни ўстириш масалаларини хам ўрганишга қаратилган.  $Al_xGa_{1-x}As$  типидаги кирсталларни ўстириш хам шундай масалалар сирасига киради. Бу кристалларни GaP муҳитида ўстириш технологияларини ўрганиш ушбу БМИ нинг максади килиб қўйилган эди.

2)  $Al_xGa_{1-x}As$  каби мураккаб тизимли кристалларни ўстириш технологиясининг яратиш муаммосини кристалларни ўстириш бўйича тўпланган маълумотларни ўрганмасдан хал килиб бўлмайди. Шу максадда

БМИнинг дастлабки бобида кристалларни ўстириш борасидаги усуллар ўрганиб чикилди. Бу усуллар орасида суюк фазадан эпитаксиялаш усули юпка яримўтказгичли катламларни ўстиришнийг энг самфадорли усулларидан эканлиги кўрсатиб ўтилди.

3) Яримўтказгичли тагликда эпитаксия усули билан катламлар ўстиришда аралашмапар концентрациясини ва уларнинг таксимотини назорат килишнинг имконияти мавжуд. Шу имкониятдан фойдаланиб  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  катламларини ўстириш технологаялари баён этилди. Ушбу БМИ мавзунинг илмий янгилиги шундаки,  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  каттик киришманинг электрофизик хоссалари алюминий атомларининг қотишма чукурлиги бўйлаб таксимотига боғлик холда биринчи марта ўрганилмокда.

4)  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  пардаларининг ўсиш тезлиги алюминийнинг эритмадаги микдорига кучли боғланган бўлиши тажриба натижаларида аникланади. Шу билан бирга бу боғликлек қристалланиш катламларининг кайси йўналишда ўсишига хам боғлик бўлар экан. Катламларнинг [111] йўналишда ўсиш тезлиги [100] йўналишда ўсишига нисбатан секин кечади. Бу ходиса арсенид галлий эрувчанлигининг камайиши ва турли йўналишнинг турлича кристалланиш энергиясига эгалиги билан изохланади.  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  катламларни ўрганиш шуни кўрсатди-ки алюминий иштироки туфайли тақиқланган соҳаси кенглиги кристаллнинг ички катламига караб камайиб бориш хусусиятига эга бўлар экан. Бу ходиса ушбу аралашмада биринчи марта кузатилди.

5) Яримўтказгичга киритилган аралашмалар турли хоссаларни намоён этади. Шу муносабат билан турли аралашмаларнинг яримўтказгичларда хосил килган сатхлари, уларнинг ионизация потенциали ва бу ионизация потенциалининг кристалл панжара муҳитада ўзгариш сабаблари ўрганиб чикилди. Чукур сатхлар хосил килувчи элементлар тўғрисида маълумотлар тўпланди.

6) Суюк фазадан эпитаксия усули билан GaAs ва унинг каттиқ киришмаларини олиш технологияси анча ривожланган ва шу технология асосида турли яримўтказгичли асбоблар яратилган. Лекин GaAs да юкори каршиликпи ёки изолятор катламларни олиш масаласи деярлик ўрганилмаган. Бу масала билан Ўзбекистон Фанлар Академиясининг физика-техника институтида академик Саидов М.С. бошлиқ илмий гурух

шуғулланиб, арсенид галлийда  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  нинг кучли компексацияпанган катламларини ўстириш имкониятига эга бўлдилар.

7) Ўтиш элементлари ичida хром атомлари аралашма сифатида GaAs да кучли компенсацияловчи кобилиятта эга бўлар экани аникланди. Хром чукур акцептор сатхларини хосил килади. Чукур сатхларнинг ионизация потенциали  $E_g=0,22$  эВ га тенглиги аникланди.

8) Арсенид галлийда чукур аралашмаларни киритиш жараёнини сифатий тахлил килиш кўрсатадики, компенсацияланган пардалар хосил килиш учун эритмадаги аралашмалар концентрацияси кристаллда мавжуд бўлган донорларни компенсациялашга етарли бўлиши керак ва бу концентрация микдори кристалл ўсиш жараёнида ўзгармас микдорда ушлаб турилиши керак. Шундай килиб, эпитаксия усули билан асос кристаллнинг ўтказувчанилиги кандай бўлишидан катъий назар, унинг устига хам юкори, хам паст даражада легирланган катламларни ооонлик билан ўстириш мумкин экан.

9) Такиф эталган усулда ўстирилган юпка парданинг электрофизик хоссаларини ўрганиш юзасидан ўтказилган тажрибалар парданинг бутун калинлиги бўйлаб унинг солиштирма каршилиги  $R= 10^6\text{Ом} \cdot \text{см}$  атрофида бўлиши аникланди.

10)  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  каттиқ котишманинг 300 ва 110 К хароратларида фотоэлектрик хоссалари ўрганилди. Намунанинг ютилиш спектрида

нурланишнинг 0,92 ва 1,1 эВ кисмида фототокнинг киймати сезиларли кучайиши кузатилди. Бу ходиса факат хром билан легирланган намуналарда намоён бўлиши, унинг сўзсиз хром аралашмаси билан боғликлигини тасдиклайди.

11) Ушбу ишда баён этилган натижалар ёруғлик спектрининг кенг соҳасида ишлай оладиган фотоэлектрон асбоблар яратишида муҳим ахамиятга эга бўлади деб айтиш мумкин.

### **Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.**

1. Азизов М. Яримўтказгичлар физикаси. Т. 1974 йил. 290 б.
- 2.АкрамовҲ ва б.Яримўтказгичларда фотоэлектрик ҳодисалар.Т.1994й.272б.
3. Шолимова К.В., Физика полупроводников. М. 1985 год.
4. А. Тешабоев ва б. Яримўтказгичлар ва яримўтказгичли асбоблар технологияси. Т. 2006 йил. 335 б.
5. Зайнобиддинов С,Тешабоев А.Яримўтказгичлар физикаси.Т.1999й. 213б.
6. Стильбанс Л.С. Физика полупроводников. М. 1967 г.451 стр.
7. Таркуша. Ж.М. Основы физики полупроводников. М. 1982 год.
8. Турсунов М.Н., Дадамухаммедов С. и.др. Кремниевые солнечные элементы с тонкими фронтальными диффузионными слоями// Гелиотехника. 2003 № 2. С. 20-25.
9. Физический энциклопедический словарь. М. 1995 г. 450-455 стр.
  
- 10.Алферов Ж.А., Андреев В, Арипов Х.К. и др «Модель автономной солнечной установки с гетерофотоэлементами и концентраторами излучения». Гелио –техника. 1981. №2. с. 3-6.
- 11.Колтун М.М. «Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии» М.Наука 1984. 284 стр.
- 12.Кагон М.Б. Лансман А.П. «Использование солнечной энергия в народном хозяйстве» СССР, Под. Рен. В.А Баума. М.Наука 1965 с-42-45.
- 13.Ўзбекистон энциклопедияси . Т.4,6 б., Т. 10,407-408,бб.
14. Физический энциклопедический словарь. М. 1995 г. 450-455 стр.